ИНФОРМАТИКА

2011 июль-сентябрь № 3

УДК 681.3

Е.И. Сукач

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ СТРУКТУРНО-СЛОЖНЫХ СИСТЕМ СО МНОГИМИ СОСТОЯНИЯМИ

Рассматривается задача определения показателей надежности структурно-сложных систем со многими состояниями. Предлагается методика расчета, основанная на сведении вероятностно-алгебраической модели структурно-сложной системы со многими состояниями к совокупности моделей структурно-сложных систем с двумя состояниями (работа, отказ). Методика значительно сокращает сложность расчетов и позволяет получить точные вероятностные оценки показателей надежности структурно-сложных систем по вероятностным показателям надежности компонентов.

Введение

Широкий класс сложных систем формализуется с использованием графовых структур, которые имеют различную сложность, определяющую методы исследования таких систем. Различают структурно-простые и структурно-сложные системы графовой структуры. *Структурно-простые системы* при их математическом описании сводятся к последовательным, параллельным или древовидным структурам. Для их исследования разработаны количественные методы.

Структурно-сложные системы (ССС) описываются сценариями сетевого типа с циклами и неустранимой повторяемостью аргументов при их формализации [1]. Кроме этого, структурная сложность систем может быть обусловлена наличием множества несовместных состояний, выделенных для систем, которые имеют простую структуру [2].

Примерами графов ССС являются мостиковая структура; структура двух «звезд», включенных на «треугольник»; кольцевая структура [1]. Разработке способов расчета показателей надежности таких систем посвящено много работ, большинство которых ориентировано на рассмотрение двух состояний реальных объектов: работает (состояние функционирования), не работает (состояние отказа). Например, при исследовании мостиковой структуры используются следующие способы расчета показателей надежности:

1) пренебрежение влиянием перемычек как абсолютно надежных либо отсутствующих;

2) преобразование «мостик» в последовательно-параллельную структуру с помощью эквивалентного преобразования соединения треугольником в соединение звездой [3];

3) логико-вероятностные методы (ЛВМ), основанные на идее построения функций работоспособности систем с использованием законов логики и оценки их вероятности с использованием теории вероятностей;

4) обращение к полному перебору всех возможных состояний.

Следует отметить, что при втором подходе в результате указанного преобразования сложная мостиковая структура заменяется системой с последовательным и параллельным соединением компонентов. Заранее предполагается небольшая погрешность в расчетах, позволяющих лишь в некоторой степени приблизиться к точному решению. Это сокращает области применения метода и делает невозможным его применение для проведения расчетов, в которых предъявляются высокие требования к точности получаемых результатов (оценке риска и безопасности объектов).

Полезность ЛВМ подтверждается многолетней практикой их использования при расчете надежности ССС различной природы. При этом все научные результаты, полученные для ССС, являются пригодными и для систем с простой структурой. Однако существенным ограничением применения этих методов является размерность системы, которая определяется числом составляющих ее компонентов. Вместе с тем предполагается рассмотрение лишь двух состояний компонентов. Рост числа компонентов или числа состояний приводит к экспоненциальной сложности задачи и делает невозможным применение методов для исследования не только ССС, но и структурно-простых систем.

Метод вероятностно-алгебраического моделирования (ВАЛМ) [4] ориентирован на определение интегральных вероятностных показателей надежности, производительности, эффективности и других структурно-простых систем, увеличение числа компонентов которых и их состояний не приводит к экспоненциальному усложнению расчетов. К положительным особенностям данного метода можно отнести следующие: возможность оперировать вероятностными состояниями компонентов, для описания отношений между которыми используются произвольные функции; алгебраическую основу, позволяющую единым образом описать детерминированные и вероятностные связи между компонентами; возможность учитывать в динамике эволюционную зависимость компонентов. Новизна метода ВАЛМ проявляется как в новых возможностях (решении обратных задач [5], получении решения в символьном виде [6], переходе к непрерывному времени моделирования), так и в новых областях применения метода (механические системы [5], потоковые системы [7], демографические процессы [8]).

Поскольку объектом исследований является ССС, задача определения показателей надежности системы по показателям надежности ее компонентов не может быть решена с использованием вероятностно-алгебраического метода.

В статье в рамках вероятностно-алгебраического подхода излагается методика расчета показателей надежности многокомпонентных ССС со многими состояниями, основанная на сведении моделей с произвольным числом состояний к расчетным бинарным моделям, и демонстрируется применение этой методики для исследования графовой структуры двух «звезд», включенных на «треугольник», которая интерпретируется как электротехническая система.

Методика позволяет рассчитать показатели надежности ССС со многими состояниями ($n > 2$) и при этом сократить сложность вычислений с n^m до 2^m вариантов в случае полного перебора, а в случае использования одного из логико-вероятностных методов для расчета показателей надежности бинарных моделей получить еще дополнительный выигрыш по времени расчета. В результате появляется возможность рассмотреть ССС с большим составом компонентов и повысить уровень детализации за счет увеличения числа состояний этих компонентов. Кроме этого, такой подход открывает перспективу исследования систем с разным числом состояний у разных ее компонентов.

1. Теоретическое обоснование методики расчета показателей надежности структурно-сложных систем со многими состояниями

Для формального описания ССС используем понятия теории графов. Будем считать, что структура системы задается графом $G = (N, K)$, где N – конечное множество вершин; K – множество ребер. Из множества вершин графа выделим две вершины, определяющие вход в систему ($n_1 \in N$) и выход из нее ($n_2 \in N$).

Компонентам системы $\{K_i\}, i = \overline{1, m}$, образующим в совокупности ССС, поставим в соответствие ребра графа. При этом вершины графа определяют связи между компонентами. Будем полагать, что компоненты системы характеризуются множеством состояний $\{S_j\}, j = \overline{0, n}$. Число состояний может определяться по различным критериям. В общем случае, учитывая случайный характер происходящих с объектом изменений, число состояний может варьироваться в зависимости от выбранного числа значений исследуемого показателя надежности. В случае оценки времени безотказной работы компонентов число состояний может задаваться количеством различных значений такой величины, как наработка компонента на отказ, которая может быть как непрерывной величиной (продолжительностью работы в часах, километражом пробега и т. п.), так и целочисленной (числом рабочих циклов, запусков и т. п.). Предполагается, что вероятности состояний известны и задаются векторами

$$P^i = (p_0^i, p_2^i, ..., p_n^i), \sum_{j=0}^{n} p_j^i = 1, i = \overline{1, m} . \quad (1)$$

Таким образом, с некоторой вероятностью компоненты могут находиться в одном из выделенных состояний. Ставится задача определения вектора вероятностей состояний показателя надежности ССС по вероятностям значений показателя надежности ее компонентов:

$$P^s = (p_0^s, p_2^s, ..., p_n^s), \sum_{j=0}^{n} p_j^s = 1. \quad (2)$$

Расчет будем производить с учетом показателей надежности компонентов и схемы их соединения. Обозначим x_i веса ребер графа. Их значения задаются номерами состояний компонентов, принимающих вероятностные значения. В результате граф $G(N, K)$ является взвешенным, поскольку ребра имеют веса x_i, и случайным, поскольку веса определяются вероятностной мерой (1). Таким образом, $G(N, K)$ можно рассматривать как случайную величину, значениями которой являются графы.

Для каждой реализации случайного графа определим свойство j-связности, которое означает наличие пути, соединяющего вершины $n_1, n_2 \in N$, в графе, в котором веса ребер удовлетворяют следующему условию:

$$\min_i (x_i) \geq j \ . \tag{3}$$

Будем считать, что ССС находится в j-м состоянии надежности, если ее графическим образом является j-связный граф. Вероятностные значения показателя надежности ССС определяются связностью случайного графа $G(N, K)$, которая является случайной величиной. Вероятностные значения связности случайного $G(N, K)$ формируются путем расчета значений и вероятностей связности возможных реализаций графа.

Рассмотрим ССС с двумя состояниями надежности: S_0 (отказ) и S_1 (работа). При этом возможными значениями весов ребер графа $G(N, K)$ являются $x_i = 0 \vee 1$. Реализации случайного графа могут быть отнесены к одному из множеств: множеству графов $G_0 = \{G_0(N, K)\}$, которые являются 0-связными, и множеству графов $G_1 = \{G_1(N, K)\}$, которые являются 1-связными. Графы из множества G_0 описывают варианты реализации отказа ССС. Для графов из множества G_1 всегда существует путь, соединяющий начальную и конечную вершины, все ребра которого имеют веса $x_i = 1$ и отражают варианты реализации работы ССС.

Результирующее состояние ССС с двумя состояниями (работа, отказ), графическим образом которой является случайный граф, однозначно определяется логической функцией

$$y(x_1, ..., x_m) = \mathop{\vee}_{l=1}^{r} \left[\mathop{\wedge}_{i \in \Pi_l} x_i \right], \tag{4}$$

где Π_l – множество номеров ребер, составляющих путь $l, l = \overline{1, r}$. При этом значения вектора вероятностей, характеризующего j-связность случайного графа $G(N, K)$ и, как следствие, описывающего показатель надежности ССС, вычисляются по формуле

$$p_j^s = \sum_{l=1}^{r} \prod_{i \in \Pi_l} p_j^i, \ j = \overline{0, 1}, \tag{5}$$

где p_j^i – вероятность j-го состояния i-го компонента; p_j^s – вероятность j-го состояния системы.

Число реализаций NS случайного графа $G(N, K)$ зависит от числа его ребер и числа возможных значений весов ребер. Для двух состояний показателя надежности ССС $NS = 2^m$, где m – число ребер.

Перейдем к рассмотрению общего случая – оценке надежности многокомпонентной ССС со многими состояниями $\{S_j\}, j = \overline{0, n}$. Будем полагать, что компоненты ССС характеризуются множеством изменяющихся состояний $\{S_j\}, j = \overline{0, n}$. Первое состояние S_0 характеризует минимальное значение выбранного показателя надежности компонента, S_n определяет максимальное значение показателя надежности компонента, а остальные состояния $\{S_j\}, j = \overline{1, n-1}$, описывают некоторые промежуточные значения. Решить поставленную задачу можно двумя способами.

Первый способ. Как и в случае двух состояний ССС, вектор вероятностей состояний показателя надежности системы формируется на основе полного перебора всех реализаций описывающего систему случайного графа $G(N, K)$, которые образуются в результате рассмотрения комбинаций возможных детерминированных значений весов ребер. При этом для каждой q-й реализации ($q=\overline{1,NS}$) случайного графа $G(N, K)$ определяется уровень связности, позволяющий отнести граф к одному из множеств: $G_0 = \{G_0(N, K)\}$, …, $G_n = \{G_n(N, K)\}$.

Результирующее состояние ССС $S_k \in \{S_j\},\ j=\overline{0,n}$, графическим образом которой является случайный граф, однозначно определяется функцией

$$y(x_1,...,x_m)=\max_{l=1}^{rj}\left[\min_{i\in\Pi_l}x_i\right], \tag{6}$$

где Π_l – множество номеров ребер, составляющих путь $l,\ l=\overline{1,rj}$, который определяет j-связность графа.

Вероятность j-связности случайного графа, описывающего j-е состояние показателя надежности ССС, определяется соотношением

$$p_j^s=\sum_{lj=1}^{rj}\prod_{i\in K_{lj}}p_j^i,\ j=\overline{0,n}, \tag{7}$$

где p_j^i – вероятность j-го состояния i-го компонента; p_j^s – вероятность j-го состояния системы.

Таким образом, все реализации случайного графа будут отнесены к некоторому множеству $G_z,\ z=\overline{0,n}$. Вероятность j-связности случайного графа $G(N, K)$, характеризующая j-е состояние показателя надежности исследуемой системы, будет определяться суммой вероятностей всех возможных реализаций случайного графа, имеющих свойство j-связности.

Отметим, что для получения вероятностной оценки надежности ССС в данном случае необходимо рассмотреть $NS = (n + 1)^m$ реализаций случайного графа $G(N, K)$, где $(n + 1)$ – число состояний; m – число ребер графа.

Второй способ. Пусть k – номер состояния ($k=\overline{0,n-1}$), которому соответствует пороговое значение показателя надежности, разделяющее множество всех состояний надежности компонентов ССС на два множества:

[illegible]

В этом случае выделенные состояния компонентов будут отнесены к одному из множеств, таким образом они отобразятся в одно из обобщенных состояний S1 или S2. Очевидно, что вероятности обобщенных состояний i-го компонента при таком разбиении формируются следующим образом:

$$P^{i,k}=\left(\sum_{j=0}^{k}p_j^i,\ \sum_{j=k+1}^{n}p_j^i\right),\ i=\overline{1,m},\ k=\overline{0,n-1}. \tag{9}$$

Образом модифицированной ССС является случайный граф $G(N, K)$, веса ребер которого принимают два значения ($x_i=0\vee 1$). Связность результирующего графа определяется логической функцией (4), а результирующие вероятностные значения связности вычисляются по формуле (5).

В силу того что функции min и max являются естественным обобщением логических операций конъюнкции ($\wedge$) и дизъюнкции ($\vee$) при переходе от ССС с двумя состояниями к рассмотрению ССС со многими состояниями и сохраняют структуру введенных подмножеств $S1$ и $S2$, значения результирующего вектора вероятностей ССС будут удовлетворять соотношениям

$$P^{s,k}=(p_1^{s,k},p_2^{s,k}),\ p_1^{s,k}=\sum_{j=0}^{k}p_j^s,\ p_2^{s,k}=\sum_{j=k+1}^{n}p_j^s. \tag{10}$$

Если обозначить алгебру, порожденную функциями min и max, $A(\max, \min, n + 1)$, а булеву алгебру $B(\wedge, \vee, 2)$, то очевиден переход от алгебры, определенной на множестве $(n + 1)$-мерных векторов, к булевой алгебре. Заметим, что изменение $k=\overline{0,n-1}$ позволит сформировать значения результирующего вектора вероятностей (2).

Теорема. *Пусть в ССС, графическим образом которой является случайный граф G(N, K), где N – множество вершин, а K – множество ребер, которым соответствуют элементарные компоненты, составляющие систему, вероятности состояний i-го компонента при проведении k-го расчета задаются соотношениями (9).*

Тогда результирующий вектор вероятностей состояний показателя надежности системы $P^s = (p_0^s, p_2^s, ..., p_n^s)$ *принимает следующие значения:*

$$p_0^s = p_0^{s,1}, \; p_k^s = p_0^{s,k} - p_0^{s,k-1}, \; k = \overline{1, n-1}, \tag{11}$$

где $p_0^{s,i}$ *определяется путем проведения n* – 1 *расчета для системы этой же структуры, но с двумя обобщенными состояниями.*

Очевидно, значения вектора вероятностей (2), полученные первым и вторым способом, будут совпадать. Однако второй способ позволит значительно уменьшить время расчета за счет сокращения числа вариантов перебора реализаций случайного графа, описывающего вероятностное изменение показателя надежности ССС со многими состояниями.

2. Методика расчета показателей надежности структурно-сложной системы

Оценка вероятностных значений показателя надежности ССС реализуется с использованием системы вероятностно-алгебраического моделирования (Probability-Algebraic Simulation, PALS) [13] следующей последовательностью шагов:

Шаг 1. Формулируется постановка задачи анализа показателя надежности ССС путем вербально-графического описания условий ее функционирования и отказа. С этой целью определяется множество элементарных компонентов $\{K_i\}, i = \overline{1, m}$, модели исследуемой ССС, задается число возможных состояний показателя надежности $S = \{S_j\}, j = \overline{0, n}$, и задаются связи между компонентами. Компонентам ставятся в соответствие ребра графа. Состояния компонентов фиксируют значения исследуемого показателя надежности. Связи определяют характер взаимодействия компонентов.

Графическая схема ССС *G*(*N*, *K*) формируется в диалоговом режиме с использованием стандартных графических примитивов: вершин и ребер.

Шаг 2. Определяются пути получения исходных данных вероятностных параметров компонентов разрабатываемой структурной модели ССС. Как правило, исходные данные формируются на основе натурных экспериментов с прототипом исследуемой системы или путем анализа экспертных оценок. В результате для каждого компонента соответственно выделенным состояниям $S = \{S_j\}, j = \overline{0, n}$, задаются значения векторов вероятностей (1).

Шаг 3. Определяется состав выходных данных, представляющих собой вероятностные значения показателя надежности ССС (2), и обосновываются способы их получения. Формулируется смысловое содержание выходных данных для системы и групп компонентов.

Шаг 4. С использованием специализированных программных средств системы PALS осуществляется ввод подготовленных данных (структурных схем, параметров), необходимых для начала моделирования. При этом автоматизируется ввод исходных данных, контролируется корректность полученной информации, а результаты контроля выдаются пользователю для устранения ошибок в режиме «вопрос – ответ». Стандартизирована возможность получения данных из заранее подготовленных файлов с возможностью их редактирования и сохранения.

Шаг 5. Организуется *k*-й шаг расчетов ($k = \overline{1, n-1}$) для заданной структуры системы, но с двумя состояниями (бинарная модель). При этом вероятности состояний *i*-го компонента при проведении *k*-го расчета задаются соотношением (9).

Вычисления реализуются с использованием одного из методов ЛВМ (наращивания путей, рекуррентного алгоритма, алгоритма полного перебора) [1], позволяющих оценить надежность ССС по состояниям надежности компонентов с двумя состояниями компонентов (работа, отказ).

Шаг 6. Результаты расчетов, полученные с использованием совокупности бинарных моделей, автоматически обрабатываются программными средствами PALS. При этом компоненты результирующего вектора вероятностей состояний системы (2) определяются соотношениями (11).

Шаг 7. Результаты моделирования графически отображаются в виде графиков, представляющих вероятностные значения показателя надежности как всей системы, так и ее компонентов. Одновременно данные сохраняются в файле одного из стандартных форматов для последующей статистической обработки и анализа.

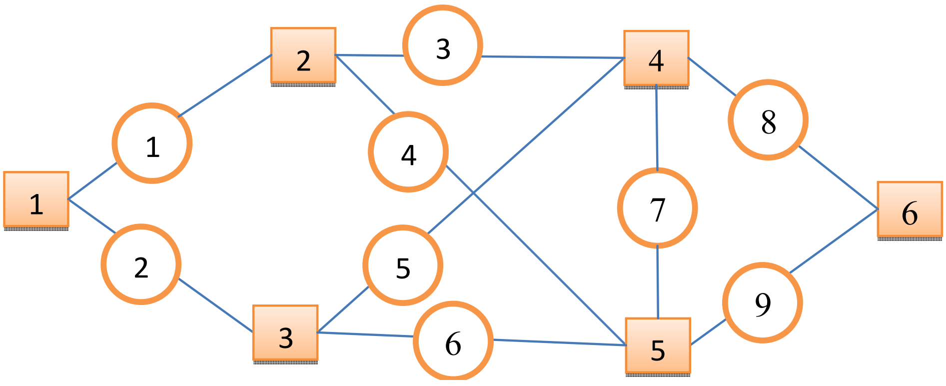
Шаг 8. В случае исследования реальной функционирующей ССС осуществляется проверка адекватности построенной вероятностно-алгебраической модели реальному объекту. В PALS она автоматически проводится путем проверки близости средних значений откликов модели соответствующим характеристикам реальной ССС. В случае отрицательных результатов осуществляется переход на шаг 2.

Шаг 9. Определяется влияние вероятностных значений показателя надежности компонентов ССС на значение компонентов вектора откликов всей системы при ее фиксированной структурной организации. С этой целью организуются модельные эксперименты, в которых варьируются значения векторов (1).

Шаг 10. Исследуется влияние конфигурации ССС на результирующий вектор моделирования при неизменных вероятностных значениях параметров компонентов. При этом могут быть рассмотрены случаи альтернативной структурной организации системы, полученные в результате различных вариантов резервирования отдельных участков системы, а также варианты, соответствующие возможным аварийным ситуациям, возникающим в ССС. Сравнение результирующих векторов показателя надежности ССС для различных вариантов ее структурной организации позволяет обосновать выбор лучшего из них, оценить эффективность резервирования отдельных участков системы и изменение показателя надежности системы в результате аварийного состояния отдельных участков.

3. Пример оценки вероятности безотказной работы структурно-сложной системы

В качестве ССС, состоящей всего из девяти компонентов $K=\{K_i\}, i=\overline{1,9}$ (ребра графа), но представляющей определенные трудности при исследовании ее надежности, рассмотрим систему, изображенную на рисунке, которая называется структурой двух «звезд», включенных на «треугольник» [1]. Система интерпретируется как электротехническая. При исследовании такой системы, как правило, оценивается вероятность ее безотказной работы, т. е. вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ не возникнет. Очевидно, что этот показатель надежности системы зависит от аналогичных показателей компонентов и носит вероятностный характер. Ставится задача определения вероятности безотказной работы системы по вероятностям безотказной работы ее компонентов.



Графическая схема структурно-сложной системы

В работе [1] приводится полученный в результате применения ЛВМ вид функции вероятности безотказной работы исследуемой системы, имеющей два состояния (работа, отказ). Данная функция представляет собой многопараметрический полином и записывается в виде

$$\begin{gathered}
R_c = (Q_3*Q_5*Q_7*Q_8 + Q_3*Q_5*Q_7*R_8 + Q_3*Q_5*R_7*Q_8 + R_3*Q_5*Q_7*Q_8 + Q_3*R_5*Q_7*Q_8)* \\
R_9(1-(1-R_1*R_4)*(1-R_2*R_6)) + Q_3*Q_5*R_7*R_8*(1-(1-R_1*R_4)*(1-R_2*R_6)) + \\
+Q_3*R_5*R_7*R_8*(1-(1-R_1*R_4)*Q_2) + Q_3*R_5*R_7*Q_8*R_9*(1-(1-R_1*R_4)*Q_2) + \\
+R_3*Q_5*Q_7*R_8*(1-(Q_1*(1-(1-Q_9*Q_4)*R_2*R_6))) + R_3*Q_5*R_7*Q_8*R_9*(1-Q_1*(1-R_2*R_6)) + \\
+R_3*Q_5*R_7*R_8*(1-Q_1*(1-R_2*R_6)) + R_3*R_5*Q_7*Q_8*R_9*(1-Q_1*Q_2)*(1-Q_4*Q_6) + \\
+R_3*R_5*R_7*Q_8*R_9*(1-Q_1*Q_2) + (R_3*R_5*Q_7*R_8 + R_3*R_5*R_7*R_8)*(1-Q_1*Q_2) + \\
+Q_3*R_5*Q_7*R_8*(1-Q_2*(1-R_1*R_4*(1-Q_6*Q_9)),
\end{gathered}$$

где R_i – вероятность работы i-го компонента; Q_i – вероятность отказа i-го компонента, $i=\overline{1,9}$.

При условии равенства значений вероятностей работы и отказа компонентов системы

$$R_i = Q_i = R = 0,5,\ i=\overline{1,9},$$

для расчета вероятности безотказной работы используется однопараметрический полином вида

$$R_c = 4R^3 + 4R^4 - 8R^5 - 20R^6 + 42R^7 - 27R^8 + 6R^9 .$$

Для электротехнических систем все же актуально рассмотрение трех состояний, одно из которых интерпретируется как исправная работа, а два других получены в результате классификации отказов по признаку событий, ведущих к отказу, а именно: отказ типа «обрыв», отказ типа «короткое замыкание». Поскольку для таких систем резервирование может не только увеличивать, но и снижать надежность, что определяется преобладающим видом отказов компонентов, конфигурацией системы и числом резервных компонентов, то актуально проведение предварительных расчетов с использованием предложенной методики, позволяющих сделать сравнительный анализ множества вариантов организации работы исследуемой системы. Таким образом с использованием предложенной методики статически исследовалась ССС, представленная на рисунке и имеющая три состояния $S=\{S_j\}, j=\overline{0,2}$. Состояния интерпретировались следующим образом: отказ компонента по причине «обрыва», при котором сопротивление компонента $R=0$ (состояние S_0); отказ по причине «короткого замыкания», при котором сопротивление компонента $R=\infty$ (состояние S_2); исправная работа, при котором сопротивление компонента принимает некоторое детерминированное значение $R=d$ (состояние S_1). В результате расчетов был сформирован вектор вероятностей состояний системы, характеризующий выбранный показатель надежности для текущего момента времени. В таблице представлены исходные данные вероятностей трех состояний для множества компонентов структуры двух «звезд», подключенных к «треугольнику», и значения результирующего вектора вероятностей, характеризующего исследуемый показатель надежности системы.

Исходные данные и результаты вероятностных значений показателя надежности ССС

Номер компонента	Вероятность отказа «обрыв» (S_0)	Вероятность работы (S_1)	Вероятность отказа «короткое замыкание» (S_2)
1	0,252 71	0,414 78	0,332 51
2	0,346 24	0,477 21	0,176 55
3	0,312 03	0,425 31	0,262 66
4	0,350 53	0,468 6	0,180 87
5	0,312 27	0,439 55	0,248 18
6	0,287 58	0,490 66	0,221 76
7	0,262 63	0,402 79	0,334 58
8	0,210 13	0,467 67	0,322 2
9	0,285 14	0,48675	0,228 11
Результаты вычислений	0,098 350	0,746 111	0,155 539

Справедливость полученных результатов подтверждается расчетами вероятности безотказной работы для систем с тремя состояниями с использованием логико-вероятностного подхода [1]. При этом сложность расчетов определяется 2^9 вариантами полного перебора.

Преимуществом методики является отсутствие ограничений на число возможных состояний системы, что позволяет оценивать показатели надежности ССС со многими состояниями, размерность которых допускает применение ЛВМ в случае рассмотрения двух состояний.

Заключение

Предложенная методика позволяет получить точные оценки показателей надежности ССС со многими состояниями. Она значительно сокращает сложность расчетов надежности системы в результате сведения модели ССС со многими состояниями к совокупности бинарных моделей. Для оценки показателей надежности ССС с n состояниями в случае полного перебора требуется рассмотрение n^m вариантов, где n – число состояний, m – число компонентов системы. Методика позволяет сократить число вариантов полного перебора до 2^m и далее, используя элементарные алгебраические преобразования, получить оценки показателей надежности исследуемой ССС с n состояниями. Кроме этого, оценка надежности выделенного класса систем с использованием одного из ЛВМ на очередных итерациях расчета бинарных моделей значительно упрощает получение точного решения и в целом сокращает сложность расчетов ССС со многими состояниями. В силу нового подхода к оценке показателей надежности ССС значительно расширяется класс систем, для которых могут быть произведены расчеты. Наличие средств автоматизации, реализующих этот подход, позволяет провести сравнительный анализ надежности систем различной конфигурации, оценить влияние параметров надежности отдельных компонентов на надежность системы, выработать и обосновать необходимые управленческие проектные и эксплуатационные решения.

Список литературы

1. Рябинин, И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем / И.А. Рябинин. – СПб. : Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2007. – 276 с.

2. Соложенцев, Е.Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и экономике / Е.Д. Соложенцев. – СПб. : Изд. дом «Бизнес-пресса», 2006. – 530 с.

3. Диллон, Б. Инженерные методы обеспечения надежности систем / Б. Диллон, Ч. Сингх. – М. : Мир, 1984.

4. Сукач, Е.И. Метод вероятностно-алгебраического моделирования надежности функционально-сложных систем / Е.И. Сукач // Информатика. – 2010. – № 3. – С. 18–30.

5. Ратобыльская, Д.В. Вероятностно-алгебраическое моделирование характеристик надежности механических систем / Д.В. Ратобыльская, В.Л. Мережа, Е.И. Сукач // Проблемы физики, математики и техники. – 2010. – № 2 (3). – С. 75–79.

6. Сукач, Е.И. Анализ сложных систем с использованием методов компьютерной алгебры / Е.И. Сукач // Третья Междунар. науч.-техн. конф. «Компьютерная математика в инженерии, науке и образовании», 1–31 октября 2009 г., Полтава. – Киев : Изд-во НАН Украины, 2009. – С. 58.

7. Вероятностно-алгебраическое моделирование потоковых систем / Д.В. Ратобыльская [и др.] // Современные информационные компьютерные технологии (mcIT–2010) [Электронный ресурс] : материалы II Междунар. науч.-практ. конф. / УО «Гродненский ун-т им. Я. Купалы». – Гродно, 2010. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

8. Лин, Д.Г. Динамика демографических процессов на постсоветском пространстве / Д.Г. Лин, Е.И. Сукач. – Минск : Право и экономика, 2010. – 246 с.

9. Можаев, А.С. Теоретические основы общего логико-вероятностного метода автоматизированного моделирования систем / А.С. Можаев, В.Н. Громов. – СПб. : Изд-во ВИТУ, 2000. – 145 с.

10. Сукач, Е.И. Вероятностно-алгебраический метод моделирования сложных систем / Е.И. Сукач, Д.В. Ратобыльская, В.Н. Кулага // Материалы науч.-практ. конф. «Имитационное моделирование. Теория и практика. ИММОД-2009», Санкт-Петербург, 21–23 октября 2009 г. – СПб., 2009. – Т. 1. – С. 187–191.

11. Сукач, Е.И. Моделирование вероятностных характеристик сложных систем с использованием стохастических алгебр / Е.И. Сукач, Д.В. Ратобыльская, В.Н. Кулага // V Междунар. конференция-форум «Информационные системы и технологии», Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 16–17 ноября 2009 г. – Минск : А.Н. Вараксин, 2009. – Ч. 1. – С. 178–181.

12. Сукач, Е.И. Расширение метода логико-вероятностного моделирования сложных систем / Е.И. Сукач, Д.В. Ратобыльская, В.Н. Кулага // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах : труды Междунар. науч. школы МА БР, 7–11 июля, 2009 г. – СПб. : ГУАП, 2009. – С. 471–476.

13. Ратобыльская, Д.В. Программная система вероятностно-алгебраического моделирования сложных систем / Д.В. Ратобыльская, Е.И. Сукач // VI Междунар. конференция-форум «Информационные системы и технологии», Академия управления при Президенте Республики Беларусь, 24–25 ноября 2010 г. – Минск : А.Н. Вараксин, 2010.

Поступила 29.03.11

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины,
Гомель, Советская, 104
e-mail: elena.sukach@mail.ru

E.I. Sukach

A METHOD OF CALCULATING THE RELIABILITY OF MULTICOMPONENT STRUCTURALLY COMPLEX SYSTEMS MULTI-STATE

The problem of determining the reliability of structurally complex systems with many states is considered. The technique of calculations is based on reducing the probabilistic-algebraic model of structurally complex systems with many states to the set of models of structurally complex systems with two states (job, failure). The technique significantly reduces the complexity of the calculations and provides accurate probabilistic reliability evaluation of structurally complex systems by probabilistic parameters of component reliability.